Zaplať pánbu, že se již slovu „nebe“ nejsme nuceni vyhýbat — pokud se militantním ateistům a jiným nelíbí, je to jejich věc. Jestliže by se sousloví „hvězdné nebe“, definované výše, u nás dříve stěží prosadilo, dnes pro to nevidím žádnou vážnou překážku. Jsem si jist, že obecným užíváním slova „nebe“ neurážím ani křesťany — jde vždy o užívání ve smyslech vzbuzujících pocity a představy spíše vznešené. (I když lze jistě říci i „dnes je nebe věru ošklivé“. Povšimněme si pro cvik, že se v této větě nijak nehodí náš pojem „obloha“ — to je geometrická kategorie, která je pochopitelně stejná bez ohledu na počasí. Spor nastává jen v případě tlusté a husté mlhy, kterou můžeme chápat jako součást obzoru, ale tehdy spíše můžeme mluvit o tom, že „obloha není“. Přesně bychom mohli bez užití slova „nebe“ říci jen: „To, co dnes vidím na obloze, se mi vůbec nelíbí.“)

To je zatím vše, co se mi zdá podstatné k těmto věcem. Narazíte-li však na případ, kdy vám zde zavedená terminologie nebude připadat zcela uspokojující, budu vám vděčen, když mne na to upozorníte.

Poděkování

Definici oblohy faktorizací vektorového prostoru vymyslil v roce 1983 na mou žádost matematik Ondřej Zindulka (má žádost zněla: „najdi prosím tě něco, co by odpovídalo vágnímu sousloví množina směrů“). Díky němu mám jistotu, že taková geometrická kategorie existuje a lze ji přesně zavést.

Při formulování první části této práce mi pomohly připomínky Dr. Zdeňka Pokorného. Jemu též vděčím za to, že se termíny obloha a hvězdná obloha začaly standardně používat na brněnské hvězdárně, a zejména za to, že o nich již několikrát v domácím astronomickém tisku psal. Připravil tak snad půdu pro můj již tíže stravitelný text o téže věci, tj. první část této práce, napsanou původně začátkem roku 1991.

Jím podpořené frekventované užívání pojmu hvězdná obloha mě posléze upozornilo na potřebu pojmu dalšího, to jest pojmu hvězdné nebe. Je to pojem snadno pochopitelný, a doufám, že i on se postupně prosadí. S ročním zpožděním (po prvním „rukopisu“) a s dostatečným odstupem od tehdejšího nápadu jej konečně s klidným svědomím nabízím astronomické, fyzikální a učitelské veřejnosti.

Jan Hollan, *Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka, 616 00 Brno*

Co je *obloha* a co zas *hvězdné nebe?*

(verze 1.1, 1993-10-15)

Abstrakt

V práci je definován geometrický pojem *obloha* (pomocí faktorizace vektorového prostoru podle rovnoběžnosti, což odpovídá populárnímu obratu „množina směrů“) a objasněn jeho fyzikální obsah. Je zaveden pojem *hvězdná* (přesněji *inerciální*) *obloha*. Konzistentním způsobem je popsáno vytváření souřadnicových soustav na obloze.

Dále je zaveden pojem *hvězdné nebe*; rozumí se jím množina viditelných objektů ležících či jevů odehrávajících se nad stratosférou.

Jako nekonfliktní slovo, které lze používat v běžném vyjadřování místo přesně definovaných pojmů (včetně pojmu obloha), je doporučeno slovo *nebe*, k němuž lze volně užívat jakékoliv přívlastky — jen jediný přívlastek (hvězdné) z něj činí definovaný termín odborný.

Část první, geometrická (a fyzikální):

O oblohách

vymezuje pojmy *obloha, obzor, úhlová výška, výška nad obzorem, hvězdná (inerciální) obloha, obecná obloha*
a ukazuje *rozdíl mezi polohou objektu na obloze a polohou ve vztažné soustavě.*

V populárních astronomických textech se často setkáváme s obraty jako „pohyb hvězd po obloze“ či „otáčení oblohy“, které využívají běžného jazyka a zdají se být plně srozumitelné. V odbornějších textech se místo slova „obloha“ objevují zpravidla slova „sféra“, či „nebeská sféra“, která laikovi připadají poněkud záhadná — o jakou kouli (sféru) astronomům jde?

Objasnění „vědeckého“ pojmu „nebeská sféra“ v astronomických slovnících nepostrádají humoru — tak se tvrdí že nebeská sféra je „kulovou plochou nekonečného poloměru, na kterou se nám promítají vesmírné objekty“, případně se místo o „nekonečném“ mluví o „libovolném“ poloměru. Je to věru divná kulová plocha. A o jaké promítání jde, se ovšem také neříká.

Zacházení s takto fakticky nedefinovaným pojmem není snadné ani pro mnohé astronomy, nejsou-li na to zrovna specializovaní, a snahy naučit tomu laiky bývají zcela bezúspěšné. Trochu lepší to snad bylo v minulosti, když byla jako přirozená přijímána představa, že hvězdy jsou skutečně rozmístěny na povrchu nějaké křišťálové kulové slupky (sféry stálic), a ta se pak v knihách malovala jako pozorovaná zvenku, tedy ne z pohledu od Země, ale k Zemi. Skupiny hvězd na „sféře“ vyznačené byly pak sice zrcadlově převrácené oproti pohledu ze Země, ale na to si žáci zřejmě brzy zvykli. Všechny středověké hvězdné mapy byly kresleny právě tak, pročež jsou dnes pro nás trochu nepřehledné. Výhodou zato bylo, že „sféra stálic“ byla úplnou obdobou kulového povrchu Země, s tím rozdílem, že se oproti Zemi točila. Dnes je ale takový přístup jen těžko použitelný, a jiné obvykle užívané přístupy jsou neefektivní.

Ale pro sestrojení soustavy souřadnic, umožňující jednoznačné vyjádření kteréhokoliv směru pomocí uspořádané dvojice čísel, potřebujeme ještě další oporný směr. Nejsnadnější je zvolit jej např. jako směr k některému pevnému bodu na obzoru. Běžně se však vybírá jinak: jako směr rovnoběžný se zemskou rotační osou. Problémem pak je jeho obtížnější experimentální realizace. Lze jej nalézt dynamicky, tj. pomocí gyroskopu, nebo zjistit přibližně pomocí kompasu a zeměpisných znalostí, nebo najít přesně kinematicky, pozorováním vzdálených vesmírných těles. Problémem takové obvyklé volby je zřejmá skutečnost, že hledaná soustava souřadnic má být sice zakotvena ve vztažné soustavě spojené se Zemí, ale druhý oporný směr již není definován tělesem samým, ale též jeho dynamickým stavem. V praxi to většinou nepůsobí velké potíže — rotační osu Země lze totiž považovat za nehybnou vůči pevnému povrchu Země, protože její naklánění vůči pevnému povrchu či vůči zenitu na daném stanovišti dosahuje stěží jedné úhlové vteřiny za desetiletí.

Po obloze se různé objekty různě pohybují. Ty z nich, které k nám posílají světlo z vesmírných dálek, se ale pohybují všechny stejným způsobem, totiž tak, že směry k nim se v prvním přiblížení rovnoměrně otáčejí kolem směrů rovnoběžných se zemskou osou (takové směry jsou dva opačné, severní a jižní). (V druhém přiblížení je zde odchylka, že úhlová výška objektu se mění trochu pomaleji, zejména blízko nulové úhlové výšky, což je dáno refrakcí světla v ovzduší, a teprve v dalších přiblíženích hrají roli změny „dynamiky Země“.) To vedlo již dávno k přirozené a kinematicky správné představě, že vesmír se točí kolem Země či prostě kolem našeho obzoru.

Pro studium vesmíru se tedy hodí „přestoupit“ do jiné vztažné soustavy, ve které se již vesmír neotáčí. To je velice snadné: stačí začít otáčet hlavu (či spíše dalekohled, fotografickou komoru,...) kolem směrů zemské osy „za hvězdami“. Pak již ovšem nestudujeme pohyb hvězd po obloze, ale polohy objektů na „hvězdné obloze“. Na rozdíl od oblohy, spjaté se Zemí a stanovištěm na jejím povrchu, je **hvězdná obloha** definována volbou inerciální vztažné soustavy a jejího vybraného bodu (stanoviště). Je-li toto pozorovací stanoviště mimo dosah atmosféry, jsou v případě velmi vzdálených objektů (galaxií) jejich polohy na hvězdné obloze neměnné (z hlediska pozorovacích možností naší astronomie), a i polohy hvězd naší galaxie se mění jen natolik málo, že změny jsou zjistitelné jen u hvězd nepříliš vzdálených. Označení hvězdná obloha volíme kvůli jeho libozvučnosti a názornosti, i když je zřejmé, že přesnější označení je **inerciální obloha** — takto přesně se ale bohužel lze vyjadřovat jen mezi fyziky; v tomto textu si to nadále občas dovolíme, ale jinak doporučujeme označení uvedené výše.

Zůstává-li ovšem pozorovací stanoviště na zemském povrchu, pak se polohy hvězd na hvězdné obloze přeci jen mění (vychylují se z „rovnovážných poloh“ refrakcí). Dále, přísně vzato, nejde pak o skutečnou hvězdnou oblohu — ač se vztažná soustava (dalekohled poháněný „hodinovým strojem“) neotáčí (nyní již v absolutním dynamickém smyslu), není inerciální. To se v případě pohybu Měsíce na takové „nepřesně inerciální obloze“ projevuje již během jedné noci . Odchylka od jeho polohy na „lépe inerciální obloze“, kde by myšleným stanovištěm byl střed Země (takové obloze lze říkat geocentrická hvězdná obloha, stále ovšem s vědomím, že její „hvězdnost“, tj. inercialita není úplná), činí až asi jeden stupeň (a označuje se jako paralaxa Měsíce). Během roku se pak projevuje i neinercialita daná oběhem Země kolem Slunce, a to jednak tzv. aberací poloh všech hvězd, a jednak tzv. paralaxou

hvězd blízkých (to jsou tedy „vady“ na inercialitě „geocentrické hvězdné oblohy“).

Je zjevné, že obloha a hvězdná obloha jsou jen dvěma zvláštními případy „**obecné oblohy**“. Obecnou oblohou, blízkou inerciální obloze, je i „topocentrická“ a „geocentrická hvězdná obloha“. Obecná obloha může být spojena s libovolným bodem libovolné vztažné soustavy. *Do obecné oblohy je také možné zahrnout i „obzor“*, tj. viditelný povrch vztažného tělesa. V případě topocentrické hvězdné oblohy tomu tak koneckonců je: je-li hvězda pod obzorem, nelze mluvit o její poloze na této obecné obloze, máme-li na mysli viditelnou polohu (směr, odkud do našich očí přichází světlo z této hvězdy) — hvězda prostě na této obloze není (ledaže bychom neměli na mysli optickou, ale hypotetickou neutrinovou polohu hvězdy). Je na ní však např. pouliční lampa, nebo nedaleký kámen, i když u těchto blízkých objektů nehraje obvykle žádnou roli rozdíl mezi „průvodičem“ objektu od daného stanoviště v dané vztažné soustavě a polohou na obecné obloze tímto způsobem zakotvené. Někdy ale hrát může, i zde se totiž může projevovat refrakce, ale i zrcadlení v ovzduší (u vzdálených předmětů), nebo triviálně např. odraz na vodní hladině — tak např. lampa může být na oné obloze dvakrát, jednou z toho jako zrcadlový obraz. Lze si ale představit „ideální topocentrickou hvězdnou oblohu“, na níž by hvězdy nebyly ovlivněny ovzduším a neprůhledností Země, a od poloh na skutečné hvězdné obloze by se odchylovaly jen kvůli paralaxe a aberaci.

Výše (na straně 3) naznačený rozdíl mezi polohou věci ve třírozměrném prostoru a její polohou na obloze se vlastně týkal obecné oblohy, to jest i pozemských věcí kolem nás. Obecná obloha je pojmem, použitelným a smysluplným i mimo astronomii, i když pro popis pozemského světa je to kategorie s názvem poněkud zvláštním. Jestli by mohla být tak užitečná, že by si zasloužila i alternativní „pozemský“název, nevím. V každém případě mne zatím jiný název nenapadá.

Věnujme se nakonec souřadnicovým soustavám na oblohách. Na obecné obloze, tj. množině směrů ve výše popsaném smyslu, lze volit *systém souřadnic* různě. Lze např. využít kterékoliv báze původního vektorového prostoru a směr udat pomocí trojice souřadnic libovolného vektoru, který je jeho prvkem, nebo užít souřadnic příslušného jednotkového vektoru. Směr je pak určen uspořádanou trojicí čísel, a též každou jinou trojicí, která je prostě jejím kladným násobkem, včetně oné trojice, kde suma čtverců souřadnic je rovna jedné (což odpovídá jednotkovému vektoru). Takové souřadnice jsou velmi výhodné pro snadnost transformace do jiné soustavy souřadnic (prostě se vynásobí maticí rotace či obecnější transformace).

Můžeme též užít polární soustavy souřadnic namísto kartézské, s tím, že se vypouští souřadnice udávající vzdálenost (či spíše tato souřadnice ztrácí smysl). Je to výhodně zejména pro vyznačení souřadnicové sítě do mapy. Transformace z původní *trojice* souřadnic směru v dané vektorové bázi na *dvojici souřadnic úhlových* je zřejmá, definuje-li třetí vektor báze směr „pól“ (P) a první s druhým počátek a smysl odečtu souřadnice „délkové“. Výchozí vektorovou bázi ale ani nemusíme explicitně uvádět, stačí uvést, jak jsme se o tom zmínili již výše, jen *základní směr P, druhý oporný směr (O) a „točivost“soustavy*. Jedna souřadnice (šířková) je pak dána úhlem mezi daným směrem S a směrem základním (to je případ úhlové výšky), druhá (délková) pak orientovaným úhlem (orientovaný úhel je takový, který nenabývá jen hodnot 0 až 180 stupňů, ale 0° až 360° nebo −180° až +180°) mezi vekto-